10Г

**УДК 681.327**

***В. Ганченко[1], А. Дудкин[1], А. Петровский[1], Б. Собковяк[2]***
[1]Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси г. Минск
doudkin@newman.bas-net.by, ganchenko@lsi.bas-net.by, petrovsky@newman.bas-net.by
[2]Промышленный институт сельскохозяйственных машин, г. Познань, Польша
bolsob@pimr.poznan.pl

# Метод выделения областей на изображениях с использованием фрактальных и текстурных характеристик снимков высокого разрешения

В статье предлагается метод обработки изображений, основанный на текстурных и фрактальных характеристиках изображений. Приведены результаты совместной сегментации с использованием разработанного метода при обработке аэрофотоснимков сельскохозяйственных полей и схема программно-аппаратной системы принятия решения, использующая разработанный алгоритм обработки.

## Введение

Дистанционные методы мониторинга сельскохозяйственных полей дают возможность оперативно выявить участки полей, пораженные болезнью. Выявление заболевания на ранних стадиях развития значительно сокращает затраты труда и средств. Находят развитие два основных подхода к решению задачи выявления пораженных участков – спектрометрический и оптический [1], [2]. Спектральный подход позволяет определять многие заболевания на ранних стадиях развития. Однако, несмотря на это, оптические методы также существенно развиваются, так как их использование позволяет увеличить качество идентификации.

Объектом исследования являются цветные изображения сельскохозяйственных полей (рис. 1).

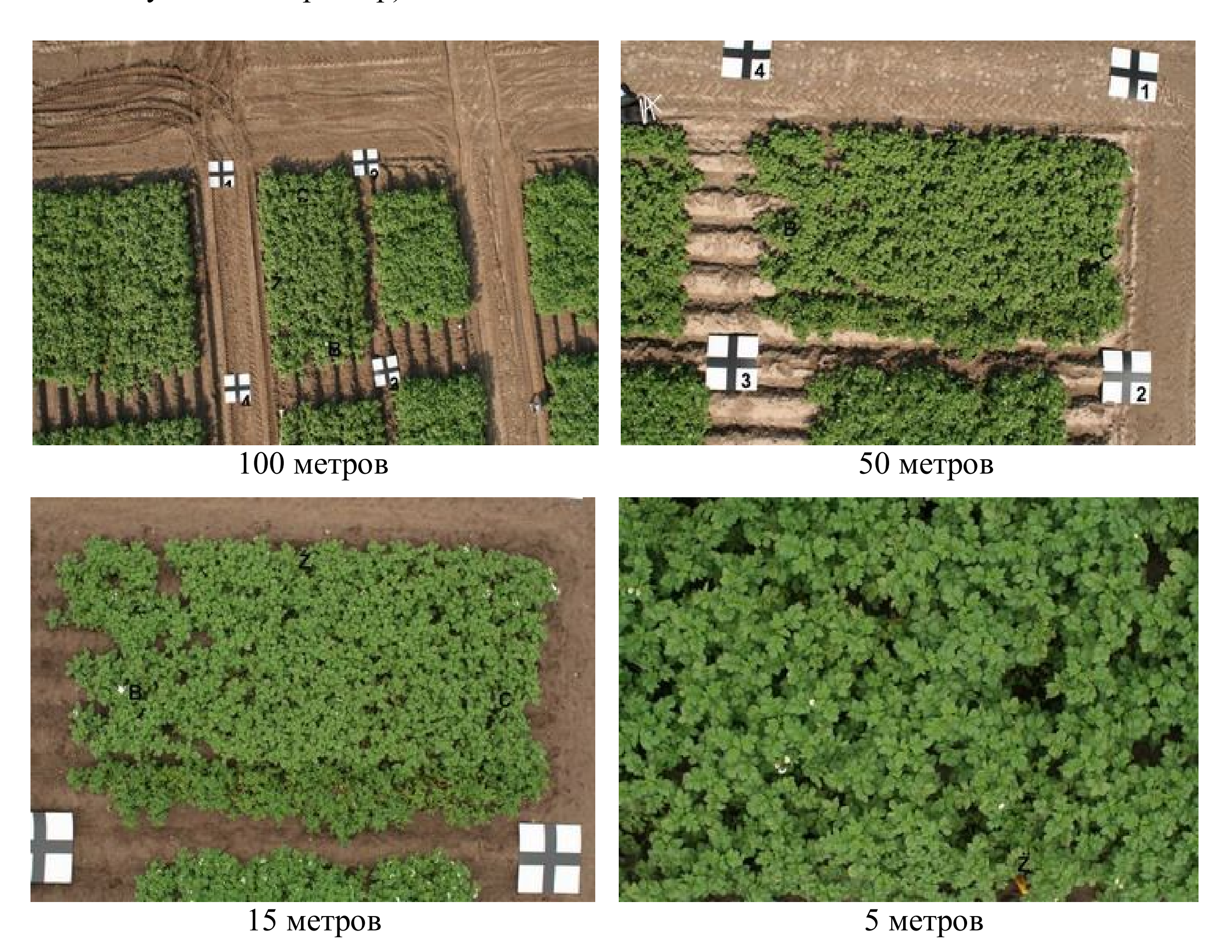
**Цель работы** состоит в разработке эффективного метода обработки полутоновых и цветных изображений растительных покровов, полученных с помощью цифровой съемки высокого разрешения, а также их реализации в виде программных средств для систем компьютерного зрения. Суть метода состоит в разработке и использовании фрактальных и текстурных характеристик с требуемыми свойствами для построения пространства признаков и выделения объектов на цветных изображениях сельскохозяйственных полей.

## Текстуры

Неоднородность либо повторяемость мелких фрагментов называется текстурой цифрового изображения. Характерным признаком текстуры является однородность на уровне окрестностей или локальном уровне, т.е. на уровне групп смежных пикселей с различными значениями яркости [3].

Текстурные изображения принято делить на два класса: стохастические (или случайные) и периодические (или структурные) текстуры. На основании признаков базовых элементов они подразделяются на мелкозернистые, крупнозернистые, гладкие, гранулированные и холмистые.

На основании степени взаимодействия базовых элементов подразделяются на сильные (взаимодействие подчиняется некоторому правилу) и слабые (взаимодействие имеет случайный характер).



100 метров 50 метров

15 метров 5 метров

Рисунок 1 – Примеры исходных аэрофотоснимков

В результате анализа основных текстурных характеристик для использования выделены следующие: ASM (Angular Second-Moment feature) – мера однородности изображения; Contrast – мера количества локальных вариаций на изображении и Entropy – мера беспорядка в яркостях пикселей изображения:

$$ASM = \sum_{i=1}^{N_g}\sum_{j=1}^{N_g}\left(\frac{P(i,j)}{R}\right)^2, \qquad (1)$$

где $N_g$ – количество отдельных серых уровней на изображении; $P$ – матрица относительных частот; $R$ – количество пар пикселей,

$$Contrast = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left(\sum_{\substack{i=1 \\ |i-j|=n}}^{N_g}\sum_{j=1}^{N_g}\left(\frac{P(i,j)}{R}\right)\right), \qquad (2)$$

$$Entropy = -\sum_{i=1}^{N_g}\sum_{j=1}^{N_g}\left(\frac{P(i,j)}{R}\right)\log\left(\frac{P(i,j)}{R}\right). \qquad (3)$$

Выбор указанных характеристик основан на результатах проведенного визуального экспертного анализа и опирается на наличие видимых различий между больными и здоровыми участками полей. Пример результата вычисления этих текстурных характеристик приведен на рис. 2.



Рисунок 2 – Результат вычисления текстурных характеристик (в данном случае – ASM) для аэрофотоснимка поля, выполненного с высоты 50 метров

# Фракталы

Суть вычисления фрактальной сигнатуры состоит в том, что квантованные значения интенсивности двумерного сигнала должны располагаться между двумя функциями, называемыми верхней и нижней поверхностями. Верхняя поверхность $U$ содержит множество точек, значения которых всегда, по крайней мере, на один квант интенсивности превышают интенсивность входного сигнала. Нижняя поверхность $L$ имеет значения точек, которые всегда ниже, по крайней мере, на один квант интенсивности входного изображения.

Верхняя и нижняя поверхности при нулевой шкале масштабов определяются как:

$$U(i,j,0) = L(i,j,0) = g(i,j); \tag{4}$$

где $g(i,j)$ – входное изображение. В общем случае:

$$U(i,j,\varepsilon+1) = \max\left\{U(i,j,\varepsilon)+1, \max_{k,m\in\eta}[U(k,m,\varepsilon)]\right\}; \tag{5}$$

$$L(i,j,\varepsilon-1) = \min\left\{U(i,j,\varepsilon)-1, \max_{k,m\in\eta}[L(k,m,\varepsilon)]\right\}; \tag{6}$$

$$\eta = \{(k,m) \mid d[(k,m),(i,j)] \le 1\}; \tag{7}$$

где $d$ – функция расстояния.

Сконструированное покрытие, образованное двумя указанными функциями, имеет толщину $2\varepsilon$. Для двумерного сигнала площадь поверхности есть объем, занятый покрытием и деленный на величину $2\varepsilon$. Площадь «поверхности» интенсивности $A(\varepsilon)$ в приделах окна наблюдения $R$ рассчитывают вычитанием точки за точкой нижней «поверхности» из верхней с дальнейшим суммированием по всему окну:

$$A(\varepsilon) = \frac{\sum_{i,j\in R} U(i,j,\varepsilon) - L(i,j,\varepsilon)}{2\varepsilon} = \frac{V(\varepsilon)}{2\varepsilon}. \tag{8}$$

Фрактальную размерность определяют по наклону $log\,A(\varepsilon)$ как функцию $log\,\varepsilon$. Пример фрактальной сигнатуры изображен на рис. 3.

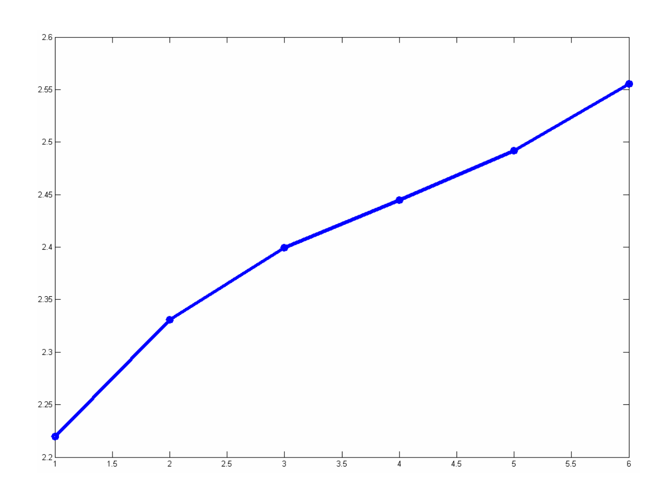


Рисунок 3 – Фрактальная сигнатура участка изображения

Фрактальная размерность $D(i,j)$ при нахождении пикселя $(i,j)$ на всех масштабах оценивается как взвешенная сумма локальных фрактальных размерностей $F_\varepsilon\ (i,j)$ в виде:

$$D(i,j)=\frac{\sum_\varepsilon C_\varepsilon F_\varepsilon(i,j)}{\sum_\varepsilon C_\varepsilon}; \qquad (9)$$

при

$$C_\varepsilon=\frac{\log\varepsilon-\log(\varepsilon-1)}{\log 2}; \qquad (10)$$

$$F_\varepsilon=\frac{\log A(i,j,\varepsilon)-\log A(i,j,\varepsilon-1)}{\log\varepsilon-\log(\varepsilon-1)}. \qquad (11)$$

Вследствие свойства, изложенного в [4], величина $F_\varepsilon\ (i,j)$ является делением $A(i,j,\varepsilon)$ на $A(i,j,\ \varepsilon\ -1)$:

$$\frac{A(i,j,\varepsilon)}{A(i,j,\varepsilon-1)}=\frac{K\varepsilon^{(2-D)}}{K(\varepsilon-1)^{(2-D)}}=\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}\right)^{(2-D)}. \qquad (12)$$

Логарифмируя, получаем

$$\frac{\log A(i,j,\varepsilon)-\log A(i,j,\varepsilon-1)}{\log\varepsilon-\log(\varepsilon-1)}=2-D=F_\varepsilon(i,j). \qquad (13)$$

Подставив в выражение (13) значения слагаемых (11) и (12) и сократив слагаемые, получим:

$$D(i,j)=\frac{\log A(i,j,\varepsilon)-\log A(i,j,1)}{\log\varepsilon-\log 1}. \qquad (14)$$

С помощью выражения (14) можно строить оценки фрактальных размерностей.

Результаты работы алгоритма вычисления фрактальных сигнатур представлены на рис. 4.

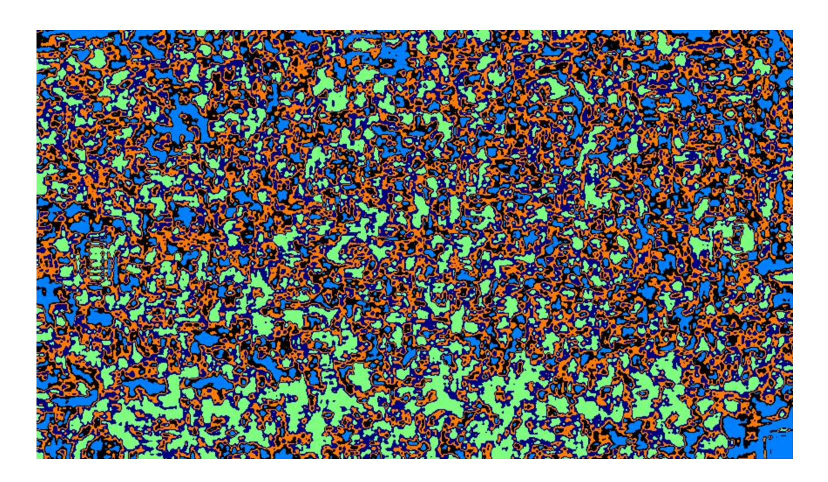


Рисунок 4 – Фрактальные сигнатуры различных областей изображения

# Метод обработки

Суть метода обработки состоит в совместной сегментации [5], используя их в качестве дополнительных информационных каналов, дополняющих имеющийся исходный снимок.

Вычисление фрактальных сигнатур и текстурных характеристик изображений осуществляется для отдельных каналов с последующим их объединением с использованием коэффициентов, значения которых зависят от типа и состояния растительности.

В качестве пространства признаков, на основании которых принимается решение, используются взвешенные матрицы цветовых характеристик исходного изображения, а также текстурные и фрактальные характеристики, вычисленные для каждого цветового канала исходного снимка.

В качестве цветовых признаков используются определенные экспертом цветовые диапазоны, соответствующие здоровым и больным участкам полей. В табл. 1 приведены значения диапазонов цвета больных участков растения.

Таблица 1 – Значения диапазонов цвета

| Тип сегмента | Диапазон оттенка | Диапазон насыщенности |
|---|---|---|
| Здоровый (зеленый) | [1,4; 3,14] | [40; 200] |
| Больной (желтый) | [0,9; 1,4] | [80; 200] |
| Больной (буро-зеленый) | [1,5; 1,8] | [14; 55] |

Значение оттенка вычисляется по формуле

$$Hue = \arctan\left(\frac{\sin(\frac{2}{3}\pi)\cdot g - \sin(\frac{2}{3}\pi)\cdot b}{r + \cos(\frac{2}{3}\pi)\cdot g + \cos(\frac{2}{3}\pi)\cdot b}\right), \quad (15)$$

а насыщенности – по формуле

$$Sat = \max(r, g, b) - \min(r, g, b)\,, \quad (16)$$

где $r$, $g$, $b$ – значения красной, зеленой и голубой компоненты цвета.

Таким образом, можно предложить следующий алгоритм обработки исходных изображений для составления карт особых областей (рис. 5).

1. Обработка исходных изображений для получения дополнительных информационных каналов, представляющих собой матрицы текстурных и фрактальных характеристик каждого цветового канала исходного изображения в отдельности.

2. Выполнение совместной сегментации полученных матриц текстурных и фрактальных характеристик и цветовых каналов исходных изображений.

3. Построение карты особых областей на основании поставленной задачи и результатов проведенной совместной сегментации.

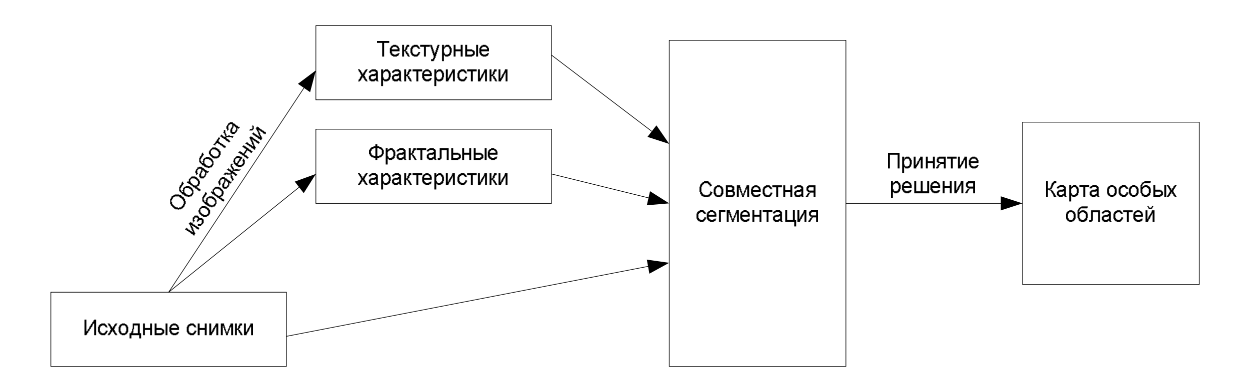



Рисунок 5 – Схема алгоритма обработки

Данный алгоритм предназначен для выполнения сегментации исходных двумерных данных, представляющих собой матрицы различных характеристик исходного изображения (в нашем случае в качестве этих признаков используются цветовые каналы, а также текстурные и фрактальные характеристики). Таким образом, работа алгоритма осуществляется в *N*-мерном пространстве признаков (где *N* – количество используемых характеристик), где каждая размерность может учитываться с некоторым весовым коэффициентом. Непосредственно сегментация осуществляется одним из распространенных алгоритмов сегментации (например, К-внутригрупповых средних или ISOMAD). Схема алгоритма представлена на рис. 6.

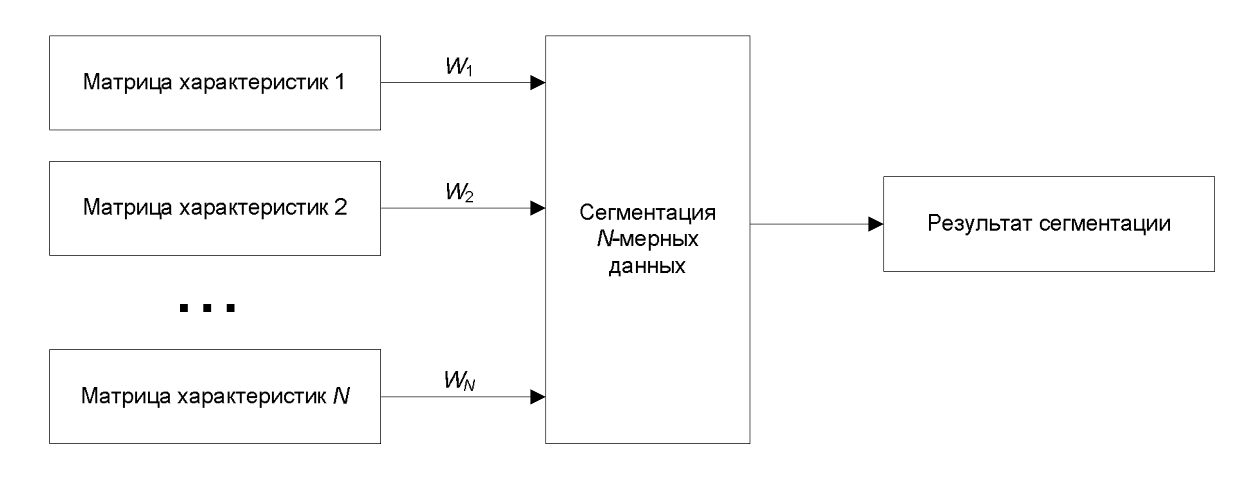



Рисунок 6 – Схема алгоритма совместной сегментации
($W_i$ – весовой коэффициент)

# Результаты экспериментов с алгоритмом сегментации

Целью проведения экспериментов являлась проверка работоспособности разработанного алгоритма на имеющихся исходных данных, а также оценка погрешности его работы.

В качестве исходных данных для эксперимента использованы снимки участка картофельного поля, выполненные с разных высот со 2 по 6 июля 2007 года. На рис. 1 приведены примеры исходных изображений, выполненных с высоты 100, 50, 15 и 5 метров.

Пример результата работы алгоритма приведен на рис. 7 (исходный снимок, выполненный с высоты 15 метров, приведен на рис. 1).




Рисунок 7 – Пример результата применения разработанного алгоритма

Полученный результат сегментации позволяет в автоматическом режиме выделить участки, на которых происходит развитие заболевания. Знание расположения таких участков позволит определить потребность тех или иных участков сельскохозяйственных полей в удобрениях и иных химикатах. А это позволит сделать сельскохозяйственные работы более эффективными и менее дорогостоящими.

При решении построения карт особых областей возможно появление на карте участков, ошибочно отнесенных к особым областям. Это связано в частности с размытием границ между частями исходного изображения (например, возникающий переход цвета на границе изображений отдельных растений и почвы), которое может появляться, например, в результате JPEG-сжатия исходных данных.

Таблица 2 – Оценки погрешностей для данных различного пространственного разрешения

| Высота съемки, м | 100 | 50 | 15 | ~ 5 |
|---|---|---|---|---|
| № эксперимента | Численное значение оценки погрешности, % | | | |
| 1 | 44,7 | 6,6 | 24,8 | 2,2 |
| 2 | 4,6 | 26,6 | 4,6 | 3,9 |
| 3 | 31,9 | 5,4 | 2,7 | 5,1 |
| … | | | | |
| Среднее | 21,2 | 10,2 | 9,5 | 3,4 |

Указанная погрешность оценивается как относительная площадь ошибочных участков, полученная на исходном изображении, не содержащем особых областей, и зависит от пространственного разрешения исходных данных (оценки для различного разрешения приведены в табл. 2).

# Практическое применение алгоритма

На основе разработанного алгоритма была предложена система принятия решения для программно-аппаратного комплекса внесения минеральных удобрений и других химикатов на сельскохозяйственные поля.

Схема предложенного комплекса приведена на рис. 8.

При работе по предложенной схеме внесение химикатов осуществляется следующим образом:

1. С использованием предложенного алгоритма вычисляются карты специальных областей (например, участки с развивающимся заболеванием растений).
2. Построенные карты получают географическую привязку и сохраняются в базе ГИС для дальнейшего использования.
3. Полученные карты используются при принятии решения о необходимости внесения того или иного количества удобрений на том либо ином участке сельхозугодий.
4. Система управления внесением химикатов на основании имеющихся карт и данных, полученных в реальном времени, контролирует количество химикатов, вносимых в почву, и направляет соответствующую команду системе внесения химикатов.

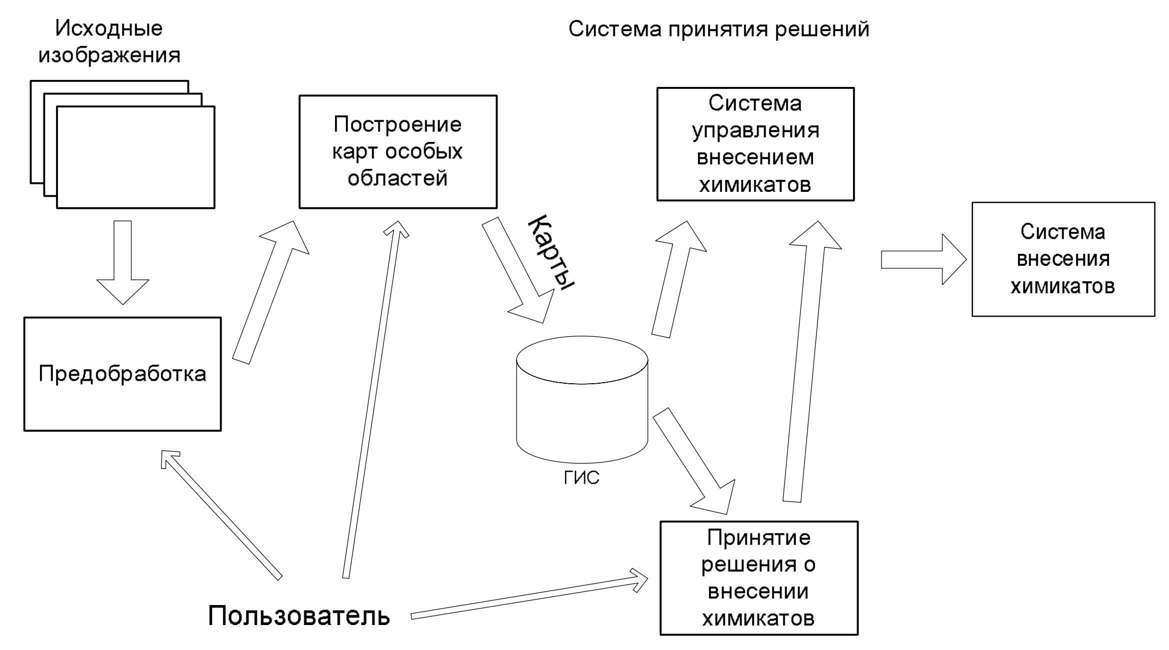



Рисунок 8 – Схема программно-аппаратного комплекса для внесения минеральных удобрений и других химикатов на сельскохозяйственные поля

В качестве данных, получаемых в реальном времени, могут использоваться:

– данные глобальной навигационной спутниковой системы. В этом случае система управления, определяя с помощью навигационной системы, на каком участке поля она находится, вычисляет необходимое количество химикатов, исходя из данных карты особых областей;

– данные от цветной камеры видимого диапазона. В этом случае система управления может в реальном времени корректировать данные карты особых областей, при этом принимая более точные решения, что увеличивает эффективность решения задачи.

# Заключение

Полученные результаты по выделению фрактальных и текстурных признаков изображений сельскохозяйственных полей позволяют получить дополнительную информацию о состоянии растительного покрова. При этом результат в меньшей степени зависит от условий освещения и наличия в кадре посторонних предметов, чем при использовании только цветовых признаков. Однако использование только этих признаков не позволяет достаточно четко выделить пораженные заболеванием участки. Для решения этой проблемы вводится алгоритм совместной сегментации, который для выделения особых областей использует также и цветовые характеристики изображений для получения более точного результата. На основании этого метода и строится программная система принятия решений о внесении минеральных удобрений и других химикатов на сельскохозяйственные поля.

# Литература

1. Беляев Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский. – Минск : БГУ, 2006. – 455 с.
2. Chao K. Machine vision technology for agricultural applications / K. Chao, Y.R. Chen, M.S. Kim // Elsevier science transactions on computers and electronics in agriculture. – 2002. – Vol. 36. – P. 173-191.
3. Старовойтов В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений / Старовойтов В.В. – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 284 с.
4. Федер Е. Фракталы / Федер Е. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
5. Ganchenko V. Joint segmentation of Aerial Photographs with the Various Resolution / V. Ganchenko, A. Petrovsky, B. Sobkoviak // Proc. of the 5th Int. Conf. on Neural Networks and Artificial Intelligence, ICNNAI 2008, May 27-30, 2008, Minsk. – Belarus (Minsk), 2008. – P. 177-181.
6. Francis S. Hill. Computer Graphics / Francis S. Hill // Macmillan Publishing Company. – 1990.
7. Foley van Dam. Computer Graphics: Principles and Practice / Foley van Dam, Feiner Hughes. – Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
8. Haralick R.M. Textural Features for Image Classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1973. – № 6. – P. 610-621.

***В. Ганченко, О. Дудкін, А. Петровський, Б. Собковяк***

**Метод виділення галузей на зображеннях з використанням фрактальних і текстурних характеристик знімків вищого дозволу**

У статті пропонується метод обробки зображень, заснований на текстурних і фрактальних характеристиках зображень. Наведені результати сумісної сегментації з використанням розробленого методу при обробці аерофотознімків сільськогосподарських полів та схема програмно-апаратної системи прийняття рішення, що використовує розроблений алгоритм обробки.

***V. Ganchenko, A. Doudkin, A. Petrovsky, B. Sobkowiak***

**Method of Areas Detection on Images Using Fractal and Textural Characteristics of High Resolution Images**

The image processing method based on textural and fractal characteristics of images is proposed in the paper. The results of joint segmentation using the developed method are demonstrated at processing aerial photographs of agricultural fields. The developed processing algorithm is applied in decision-making system, which is a part of software-hardware complex for agriculture application.

*Статья поступила в редакцию 09.06.2009.*